

小秦岭金矿区深部找矿研究

——以陈耳金矿为例

谭兴华¹, 王磊¹, 王瑞廷²

(1. 西北有色地质勘查局七一二总队, 陕西 咸阳 712000;

2. 西北有色地质勘查局, 陕西 西安 710054)

摘 要: 根据小秦岭金矿区深部找矿的研究成果和陈耳金矿的勘探实践, 初步分析研究认为, 小秦岭金矿区是我国的又一个超大型矿集区, 深部找矿条件优越、潜力巨大; 在已知矿床的深部或已知矿床的外围, 存在大面积的深部找矿有利地区; 在深部找矿的有利部位, 应该充分重视矿床主矿体的延伸、侧现、尖灭地段; 石英脉型矿床(体)的深部有望寻找构造蚀变岩型矿床(体)。深部找矿的有效勘查方法应在重视地质综合研究、掌握成矿规律的基础上, 运用地质、物探、化探等综合技术方法, 利用地球化学轴向分带模式, 预测矿体的深部富集地段, 用坑内钻探工程进行验证。

关键词: 陈耳金矿; 成矿特点; 深部找矿; 找矿方法; 小秦岭

中图分类号: P61

文献标识码: A

小秦岭地区是我国重要的矿集区, 大中小型金矿床密集分布, 黄金产量占全国半壁江山。随着社会发展, 资源开采加速, 区内地表和浅部的金资源量日益匮乏, 许多矿山企业举步维艰, 故寻找接替资源、开展深部找矿成了首要问题。

目前, 小秦岭金矿区因矿床类型简单, 成矿条件优越, 深部找矿潜力巨大, 已被国务院《找矿突破战略行动纲要》纳入“首批找矿突破战略行动整装勘查区”, 成为全国47个整装勘查项目之一。地质工作者的“小秦岭深部还有一个小秦岭”的美好夙愿可能即将变为现实。笔者在小秦岭地区陕西段从事金矿找矿勘探工作20多年, 亲历了许多金矿床的发现和开发, 在研究了小秦岭金矿区典型的大型金矿床成矿规律的基础上, 选取近年承担完成的“全国危机矿山接替资源找矿”优秀项目——陈耳金矿勘查项目这个成功的

实例, 总结出小秦岭金矿区深部找矿的一些共同特点, 以期小秦岭其他金矿床或小秦岭空白区的深部找矿工作提供借鉴。

1 陈耳金矿深部找矿实践

陈耳金矿位于陕西省洛南县陈耳镇高村, 其北部和东部边界与河南省灵宝市接壤, 属小秦岭梁脊南麓, 为小秦岭金矿区典型的石英脉型金矿床。该矿山依据陕西省地矿局第六地质队提交的《陕西省洛南县大王西峪金矿区详细普查地质报告》立项, 1987年12月建厂至2009年8月31日, 矿山历年累计采出矿石量126万t, 采出金金属量9 042 kg, 平均品位为 7.17×10^{-6} ; 保有资源储量为矿石量15万t, 金金属量950 kg, 平均品位 6.34×10^{-6} 。对于一个日处理近千吨的矿山企业来说, 资源危机

收稿日期: 2012-05-19; 修回日期: 2012-06-25

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAB04B05)

作者简介: 谭兴华(1958-), 男, 高级工程师, 主要从事矿床地球化学研究及矿产勘查技术工作。E-mail: txhyx712@163.com

迫在眉睫。受陈耳金矿委托,笔者承担了该项目的危机矿山接替资源勘查工作,投入主要实物工作量累计槽探 2 664 m³,坑探 6 415 m,坑内钻探 2 663 m,在矿床深部探获新增资源量矿石量为 104 万 t,金金属量 13 984 kg,平均品位为 13.42×10^{-6} 。为陈耳金矿新增加了一个中型矿床规模的金资源量,可延长矿山服务年限 7 年,稳定就业职工人数 600 余人,成为小秦岭金矿区深部找矿的一个成功范例。

1.1 区域地质背景

矿区位于华北地台南缘之豫西断隆区西部太华隆起西段,北与汾渭地堑相接,南与金堆凹陷毗邻,属于小秦岭金矿区西段。北部太要断裂(又称

山前断裂)、中部大月坪-金罗斑复背斜、南部朱家沟深大断裂组成了本区基本构造格局(图 1)。出露地层有北部太华隆起的太古宇太华群,南部金堆凹陷的中元古界熊耳群、高山河组、龙家园组等。太华群为金矿源层,分为大月坪组、板石山组、洞沟组、三关庙组和秦仓沟组,岩石普遍遭受不同程度的混合岩化,岩性主要为中—深变质的片麻岩系,主要为黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩和斜长角闪岩等,恢复其原岩为一套多旋回形成的海底喷发的中基性火山岩夹陆源碎屑沉积岩。有资料表明,小秦岭地区金矿床 81.3% 主要产于太华群中。

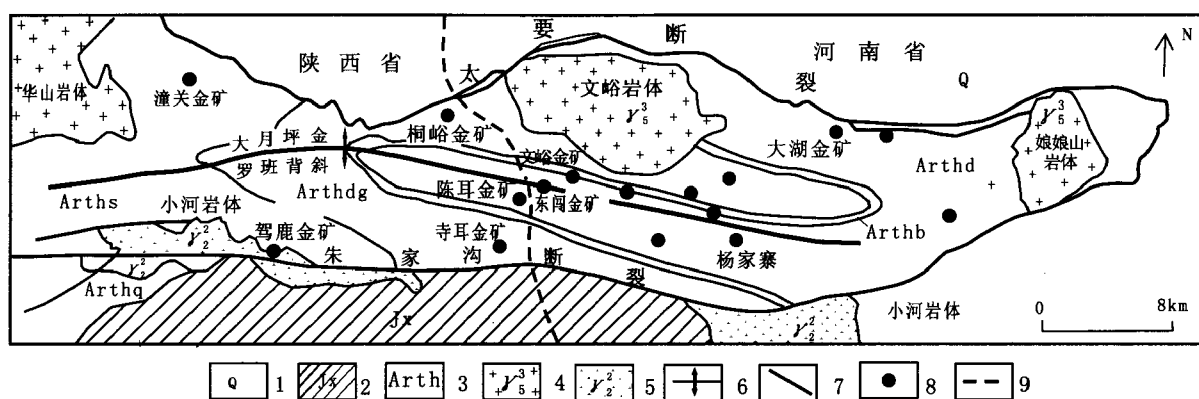


图 1 小秦岭金矿田地质略图

(根据聂风军等, 2001 改编)

Fig. 1 Geological sketch map of gold fields in the Xiaolinling region (Modified from Nie et al, 2001)

1. 第四系沉积物; 2. 中元古界碎屑岩和碳酸盐岩; 3. 太古宇太华群变质岩 (Arthd. 大月坪组; Arthb. 板石山组; Arthdg. 洞沟组; Arths. 三官庙组; Arthq. 秦仓沟组); 4. 早白垩世花岗岩;
5. 中元古代花岗岩; 6. 背斜; 7. 断裂带; 8. 金矿床; 9. 省界

矿区控矿构造主要为朱家沟深大断裂。其东起豫西朱家沟, 向西在洛南上黑彰分为 2 支, 北侧分支复合刘孙王断裂向西延至华县, 南侧分支与太子坪-上坪断裂相接。地貌上常常形成负地形, 东西延绵 100 km, 宽达 10~100 m, 向南倾, 倾角 $55^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。断裂带内糜棱岩化强烈, 构造透镜体发育, 沿断裂带有花岗岩体和脉岩产出, 多期次活动特征明显。贾建业认为朱家沟断裂就是小秦岭金矿区南缘剪切带晚期活动在近地表形成的典型脆性断裂(贾建业, 1996), 该断裂明显控制了两侧次级断裂的展布, 以及含 Au 石英脉体的发育和规模。

小秦岭地区岩浆活动频繁, 主要发育晋宁期的沙河花岗岩, 燕山期的华山、文峪、娘娘山花岗

岩, 以燕山期为主, 岩性为黑云母花岗岩。岩浆岩大都沿北东向断裂和东西向深大断裂的交汇部位分布, 显示出断裂构造对其的控制作用。据统计, 小秦岭金矿区的金矿床一般位于距花岗岩体 2~7 km 处。

1.2 矿床地质特征

1.2.1 成矿条件分析

矿床位于大月坪-金罗斑复式背斜南翼, 赋矿地层为太华岩群, 岩性为片麻岩。地层基本为南倾的单斜层, 片麻理倾向 $190^{\circ} \sim 200^{\circ}$, 倾角 $53^{\circ} \sim 88^{\circ}$ 。朱家沟断裂在矿床南侧通过, 受该大断裂带的影响, 次级断裂构造发育, 金矿脉即产于 4 组方向的断裂构造之中, 形成最早的为北西西向和北西

向断裂,其次为北东东向及近南北向断裂。

东西—北西西向断裂是主要的一组含矿构造,一般长 200~3 000 m,宽 0.5~5 m,南倾,倾角 35°~55°。矿床有 10 余条含 Au 石英脉赋存于该组断裂内。例如, Q507、Q9709、Q9503、Q555、Q2009、Q2008、Q9201、Q8107-1 等,这组矿脉提供了矿山绝大多数工业储量。北东东向断裂有 Q8002、Q9503 支脉沿其充填,其与北西西向断裂相接交汇。例如, Q8002 矿脉被 Q8107-3、Q9201 构造带所限制,说明北东东向构造带晚于北西西向构造带。北西西向断裂常呈雁行状排列于北西西向构造带旁侧,可能为北西西向构造的次一级断裂。近

南北向断裂往往被规模不等的辉绿岩脉所充填,个别充填含 Au 石英脉。

1.2.2 矿脉产出特点

矿脉在地表多呈北西西向斜列式产出,近于平行排列、密集成群分布,具等间距分布规律,而且在剖面上也出现等间距特点(图 2)。根据构造带空间产状,可划分为 3 个矿化密集地段,即 Q9503、Q8002 和 Q507 矿化密集段,各密集段间距大约 400~600 m,在每个构造发育区段内均有 4~6 条含 Au 石英脉。

Q507 矿化密集段:主要由 Q507、Q555、Q2009 和 Q2008 等矿脉组成。脉体长一般 320~

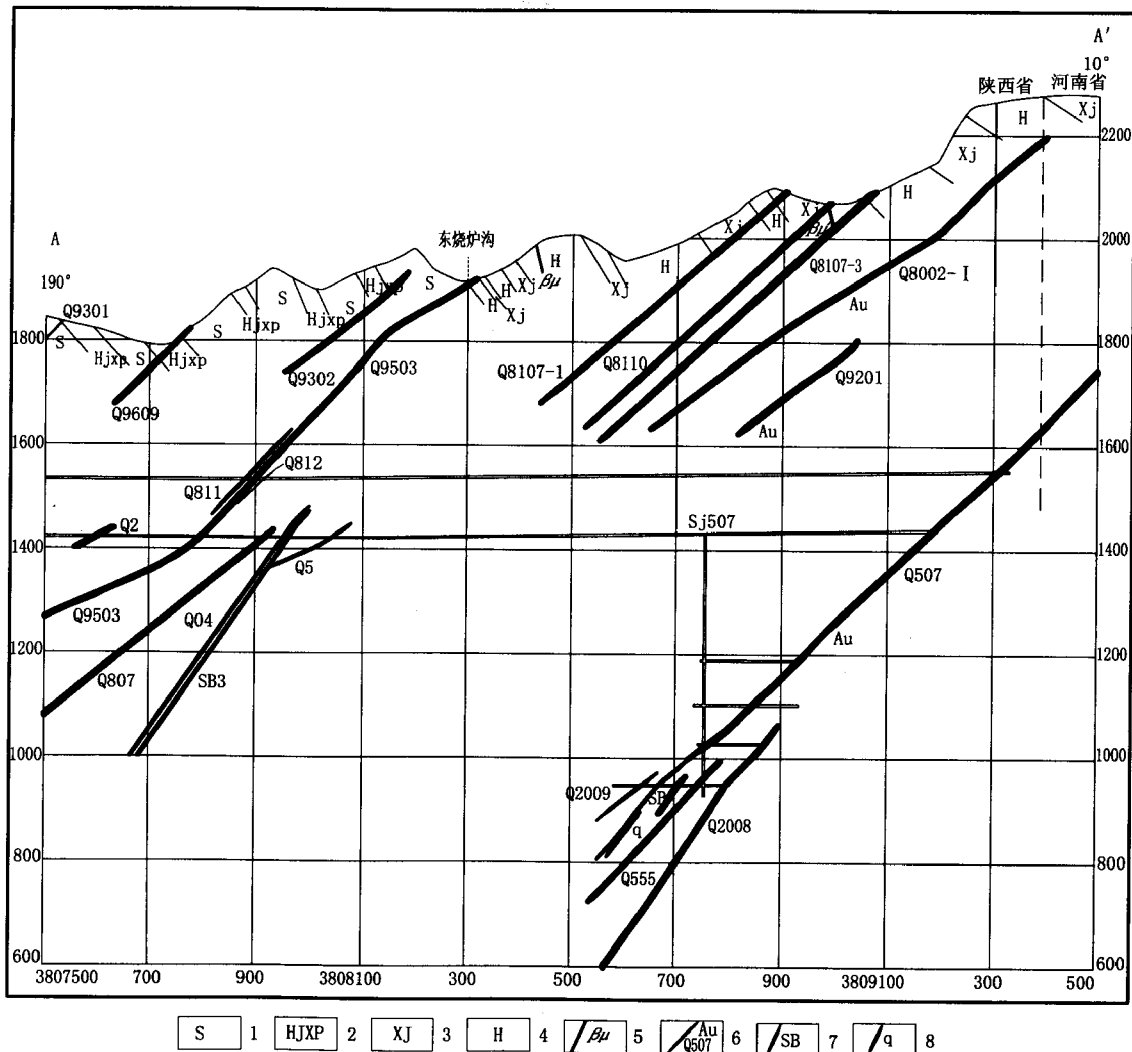


图 2 陈耳金矿床矿脉垂向分布简图

Fig. 2 Ore lode vertical distribute sketch of Chen'er gold deposit

1. 石英岩; 2. 黑云角闪斜长片麻岩; 3. 斜长角闪岩; 4. 混合岩; 5. 辉绿岩脉; 6. 金矿体位置及编号;
7. 蚀变带位置及编号; 8. 石英脉

660 m, 最长 1 050 m (Q507), 厚一般 0.23~1.31 m, 最厚 1.52 m, 产状 $175^{\circ}\sim 220^{\circ}\angle 37^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。各矿脉平行分布, 走向北西西向, 各矿脉间距一般为 60~80 m。脉体形态多为透镜状、似层状。矿脉产状均与构造带相一致, 在走向和倾向上延伸均比较稳定, 且倾向上延伸较大。

Q9503 矿化密集段: 主要由 Q9503、Q807、Q4、SB3、Q5 等矿脉组成。脉体长一般 119~190 m, 厚一般 0.10~0.8 m, 最厚 3.4 m。其中, Q5 产状为 $145^{\circ}\sim 195^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 55^{\circ}$, 走向北东东向, 倾向南东, 深部与 SB3 相交, 可能为 SB3 的分枝; 其他脉体产状 $170^{\circ}\sim 220^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 60^{\circ}$, 走向为近东西向—北西西向, 南倾, 各矿脉平行分布, 各矿脉间距一般为 30~120 m。矿体形态多为脉状、透镜状、似层状等, 矿体产状均与构造带相一致。

Q8002 矿化密集段: 主要由 Q8002、Q9201、Q8107-1、Q8110、Q8107-3 等矿脉组成。矿体长一般 370~830 m, 最长 1 350 m, 厚一般 0.10~1.16 m, 矿脉产状与构造带相一致。

1.2.3 主矿体 Q507 特征

Q507 矿脉地表出露于河南省灵宝市境内, 西起南闯西坡, 东至老鸦岔沟脑一带, 地表出露标高 1 850~2 665 m, 长度 3 000 m, 矿脉走向 $70^{\circ}\sim 130^{\circ}$, 一般为 95° , 南倾, 倾角 $35^{\circ}\sim 87^{\circ}$, 矿脉与断裂带产状一致。该矿脉自 1 628 m 标高沿倾向进入陈耳金矿探矿权区范围。

1985 年 5 月—1989 年 10 月, 武警黄金第九支队提交了“河南灵宝东闯金矿区 Q507 号矿脉勘探地质报告 (I、II、III、IV、V)”, 提交 C+D 级金金属量 20 207 kg。

1994 年 8 月—1999 年 9 月, 陈耳金矿与武警黄金第十四支队共同提交了《陕西省洛南县陈耳金矿区 Q507 矿脉 VI 号矿体、Q9709 号矿脉矿产储量说明书》。其中, Q507 矿脉 VI 号矿体提交 C+D 级矿石量 238 559 t, 金金属量 1 589 kg, 矿体估算标高 1 628~1 498 m。矿体最大长度 610 m, 一般 500 m, 最大斜深 195 m, 一般为 105~195 m, 矿体走向 280° , 南倾, 倾角 51° , 形态呈透镜状、似层状, 具膨胀狭缩、波状起伏、分枝复合的特点, 矿体最大厚度 3.93 m, 最小 0.41 m, 平均为 1.40 m, 厚度变化系数为 57.78%, 较稳定。Au 品位

最高 105.80×10^{-6} , 最低 0.49×10^{-6} , 平均为 6.66×10^{-6} , 品位变化系数为 109.62%, 较均匀。

1.3 深部找矿实践和成果

针对 Q507 矿脉 1 498 m 标高以下的深部找矿勘查工作, 在以往工作的基础上, 采用坑探、钻探 (坑内钻探) 相结合的手段, 辅以地质综合研究工作而展开。主要由 1 348 m、1 183 m、1 023 m、945 m 共四个中段的沿脉及穿脉坑道工程, 以及在 945 m 中段实施的 5 个坑内钻探工程控制。在 1 498~816 m 标高范围, 主矿体 Q507 探获矿石量 783 107 t, 占矿床总矿石量 72.20%, 探获 333 资源量 11 318 kg, 占矿床总资源量 80.54%, 平均品位为 14.45×10^{-6} 。

Q507 矿脉 VI 号矿体: 沿走向分布在 A11~A72 线, 垂向分布在 1 498~816 m 标高处。矿体最大长 1 050 m, 垂深 682 m, 斜深 910 m。其中, 在 A12~A50 线、标高 1 513~1 348 m 处, A40~A56 线、标高 1 348~840 m 处, 矿体沿走向及倾向出现无矿段, 但构造带连续, 矿化分段富集是主要原因。其中, 在 1 348 m 中段 A11~A20 处, Au 品位较高, 厚度也较大, 向西仍有较大延伸, 在 A60~A72 处, Au 品位较高, 但厚度较小, 向东已延伸到河南境内。矿体形态呈透镜状、似层状, 具膨胀狭缩、波状起伏、尖灭再现之特点。矿体严格受控矿断裂构造带控制, 产状变化不大, 一般为 $185^{\circ}\sim 205^{\circ}\angle 37^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 。

矿体金矿化较连续, 主要由含 Au 多金属硫化物石英脉所构成, 属高品位脉型矿体。厚一般 0.25~1.24 m, 平均 0.60 m, 厚度变化系数为 41%, 厚度变化稳定。Au 品位一般为 $2.14\times 10^{-6}\sim 28.11\times 10^{-6}$, 最高 59.80×10^{-6} , 平均为 15.03×10^{-6} , 矿体品位变化系数为 115%, 属较均匀型。其中, 矿体在 1 513 m 中段品位较低、但厚度较大, Au 品位一般为 $1.22\times 10^{-6}\sim 7.96\times 10^{-6}$, 平均为 3.89×10^{-6} , 厚度一般 0.39~0.97 m, 最厚 1.24 m, 平均 0.76 m; 在 1 348 m 中段品位较高, Au 品位一般为 $5.75\times 10^{-6}\sim 50.1\times 10^{-6}$, 最高 59.8×10^{-6} , 平均为 18.88×10^{-6} , 厚度一般 0.32~0.92 m, 最厚 1.15 m, 平均 0.66 m; 在 1 183 m 中段 A28~A40 线处矿体品位较高, 平均为 9.38×10^{-6} , 但厚度较小, 平均 0.37 m。坑内钻 KZ4801 孔控制矿体 Au 品位较高, 达 $49.30\times$

10^{-6} , 厚 0.40 m; 坑内钻 KZ0501 孔控制矿体 Au 品位为 1.30×10^{-6} , 厚度较大, 为 0.93 m; 坑内钻 KZ2101 孔控制矿体 Au 品位较高, 为 12.91×10^{-6} , 厚度较大, 为 0.97 m。坑内钻见矿标高为 816~822 m, 说明 Q507 矿脉自地表 2 665 m 出露, 已延深达 1 849 m, 且向深部仍有延伸, 还有变富之趋势。

矿脉在平面上和剖面上都呈平行排列、密集成群、等间距分布的特点。陈耳矿床的 3 个矿化密集段, Q507 矿化密集段包括 Q507、Q555、Q2009、Q2008 等矿脉; Q9503 矿化密集段包括 Q9503、Q807、Q4、SB3、Q5 等矿脉; Q8002 矿化密集段包括 Q8002、Q9201、Q8107-1、Q8110、Q8107-3 等矿脉。各个密集段间距一般为 400~600 m, 各个矿脉间距一般为 60~120 m。充分证明受同一断裂构造控制的矿体普遍具有等距分布规律, 其成因与断裂面的波状起伏、凹凸变化有关, 并符合主波长理论(范永香等, 2003)。因为舒缓波状的构造面形成压扭性空间与张扭性空间相间出现的构造模型, 张性空间利于矿体就位成形, 压扭性空间一般形成蚀变破碎, 但二者一脉相承。与矿床紧邻的寺耳金矿亦发现类似现象, 即脉体之间的等距性分布规律表现得极为明显。例如, Q501、Q502、Q503、Q504、Q520 等脉体之间的距离一般为 250~350 m, 且这种等距性有时并未表现在地表, 而是隐藏在地下。例如, Q526 和 Q529 之间在地表相隔约 540 m, 而经坑道探矿工程发现, 在 1 840 m 和 1 763 m 标高两脉间存在另外一条矿脉(方贵聪等, 2011)。

另外, 通过深部探矿工程揭露控制, 发现含 Au 石英脉体产状变化部位, 即倾角由陡变缓、走向上波状起伏变化部位, 都是金矿化有利部位, Au 品位一般较高, 有明显富集现象。统计表明, 部分矿脉还具有自身的延长和延深相近, 比值为 1:1, 部分矿脉延长与延深比值可达到 1:2, 多数石英脉体向深部仍有较大延伸, 深部找矿潜力巨大。掌握小秦岭金矿区石英脉型金矿体规律性的产出分布特征, 对该区的深部找矿勘查工作极为重要。

2 小秦岭金矿区深部找矿研究及意义

目前, 国内外关于深部找矿的理论研究方兴未艾, 深部找矿的勘探成果层出不穷。澳大利亚

Groves (1993), 提出地壳连续成矿理论, 认为至少在地下 15 km 以上的地壳剖面中, 产在不同变质岩相岩石中的金矿床属于一组连续的同成因矿床组合, 只是它们成矿的构造条件、围岩蚀变组合、矿石矿物组成和 Au 的赋存状态等方面有一定区别, 从次绿片岩相到麻粒岩相的变质岩中都可有脉状金矿床产出, 在不同的地壳深度上可连续形成金矿。

我国学者提出了第二矿化富集带模式(翟裕生等, 2004), 该理论最初是在 20 世纪 80 年代初期, 人们在论及小秦岭地区金矿的找矿前景时, 有人非正式的提出了小秦岭地区深部可能存在着第二个金矿化富集带, 其资源量应相当于目前已探明的金储量, 即深部存在着第二个小秦岭。同时期还有人提出了针对具体的矿区深部也存在第二矿化富集带的认识(刘石年, 1984)。以后又有学者陆续提出采用构造、物理、化学方法在长江中下游矿集区寻找金属矿床深部第二富集带(常印佛等, 1991), 以及胶东地区存在第二矿化富集带的推测(吕古贤, 2006)。

上述理论及方法无疑对小秦岭金矿区深部找矿的研究工作和勘探工作具有非常重要的指导意义。

2.1 大型—超大型矿集区是深部找矿的有利区域

深部矿和浅部矿的具体深度界定目前在学术界尚无定论, 但一般采用距地表 500 m 以下的称之为深部矿, 反之则称之为浅部矿(曹新志等, 2009)。我国这种划分原则基本上是参照固体矿产勘查一般仅对地表 500 m 以下资源作远景控制的要求。但是对于国内外大型—超大型的矿集区而言, 深部找矿勘探工作已取得了重要突破。例如, 国外有南非维特瓦特斯兰德盆地金矿区、美国的卡林金矿带成矿区, 国内有胶东金矿区、长江中下游多金属矿集区、小秦岭金矿区等, 这些矿集区最大的特点是堆积了非常巨量的金属, 矿床开采深度也非常大。据中国地质科学院矿产资源研究所统计, 目前, 世界上开采最深的矿床是南非的 Western Deep Level 金矿, 现已开采到 4 800 m, 并且在已知的这些超大型矿集区深部也取得了好的勘探成果, 证实了深部第二矿化富集区的存在(戴自希等, 2004)。

美国卡林金矿带深部找矿成果卓著。据报道, 美国卡林金矿带自 1987 年执行深钻计划以来, 先后在矿区深部发现一系列高品位大型金矿床。1987

年首先在矿区 550 m 深部粉砂质灰岩中发现波斯特-贝茨硫化物金矿床，金储量 311 t；1989 年又在 398 m 深部发现了米克尔金矿床，金储量 140 t；1991 年后，在浅部科特兹金矿近侧深部发现了派普莱恩金矿床和南派普莱恩金矿床，金储量 115 t 和 136 t；近年来，又在深度 450 m 以下发现了“高沙漠”金矿和“绿松石岭”金矿，金储量为 60 t 和 155 t。目前，认为卡林金矿带深部仍有巨大的找矿潜力。

近年来，与小秦岭地区齐名的胶东地区，金矿勘探工作特别是深部探矿工作获得重大突破。1999 年，在台上金矿深部探获金金属量 166 t；2007 年，在焦家金矿成矿带深部发现莱州寺庄特大型金矿，探明储量 51.83 t；2008 年，在焦家金矿深部探获资源量 103 t；2008 年，在夏甸金矿Ⅶ号矿体深部探明储量 30 t；大尹格庄金矿Ⅰ和Ⅱ号矿体深部探明储量 40 t。统计表明，该区探获的金矿资源总量已超过 600 t（郭春影等，2012）。这也说明该矿集区深部资源量与浅部已探明储量不相上下，这一成果对小秦岭金矿区的深部找矿工作很有借鉴意义。

小秦岭金矿区已发现的大型金矿床有文峪、东闯、大湖、东桐峪、藏珠峪、秦岭、潼峪、胭脂河、驾鹿、葫芦沟、陈耳和寺耳等，中小型矿床几十余处，已获得黄金工业储量 800 余 t。近几年来，国内学者采用齐波夫定律预测小秦岭金矿区河南省境内金资源量约为 842 t，已查明金资源储量约 400 t，预测深部至少还有 400 t 以上的金资源量找矿潜力。目前，河南省地质矿产勘查开发局第一地质调查队承担的“小秦岭深部金矿成矿规律与成矿预测”项目取得重大成果，通过对区内的 600 多条矿化带进行研究，总结出金矿控矿模型为“一街五巷三层楼”。其中，“一街”指主控矿断裂，“五巷”指与主控矿断裂平行的同序次含矿断裂，“三层楼”指围岩蚀变分带或成矿元素的地球化学轴向分带，并划分出 18 个深部成矿预测区，估算预测金资源量 468 t。这为小秦岭金矿区的深部找矿工作打开了局面。

2.2 已知矿床及其外围是深部找矿的有利地区

矿床的形成深度和产出深度是两个概念，二者不能混淆，这也进一步拓宽了深部找矿的思路。深部矿是指目前埋藏于深部的矿床，但其原始形成时

并非一定是形成于深部，因为后期的地壳升降或大的构造活动都可以使原先形成于地表附近的矿产下降到深部，反之也可以使原先形成于地下深部的矿产上升到浅部或地表（翟裕生等，2004）。

不同类型成矿作用的原始成矿深度大小是不同的（表 1），与韧性剪切带有关的成矿作用，原始成矿深度一般为 3~5 km；与热液成矿作用有关的稀有金属及多金属等矿化，原始成矿深度一般从近地表至 8 km。而目前小秦岭金矿区的矿床开采深度一般为 500~800 m 标高，结合矿脉的地表出露标高一般为 2 000~2 500 m，可知已采矿体为 1 500~1 700 m，还有 1 300~3 300 m 的深部找矿潜力。所以，针对已知矿床的深部找矿工作任重道远，潜力巨大。

表 1 不同成矿作用的形成深度
Tab. 1 Forming depth of different metallogenesis

成矿作用或矿床类型	形成深度
与超基性岩有关的铬铁矿床	20~30 km
与基性-超基性岩有关的硫化铜镍矿床	10 km 左右
热液成矿作用有关的稀有金属及多金属等矿化	从近地表—8 km
与花岗伟晶岩有关的稀有金属矿化	2~20 km
矽卡岩化和斑岩型矿化	4~5 km
火山岩型（包括次火山岩型）	小于 2 km
热卤水成矿作用	一般小于 2 km
沉积成矿作用	和沉积盆地深度有关
与韧性剪切带有关的成矿作用	一般在 3~5 km

注：据叶天竺等，2007；张德会等，2007。

在已知矿床的外围，亦是深部找矿的有利地区。矿床外围不仅仅指矿床的外面、外部，而是经过分析研究成矿规律和控矿构造，筛选出的有利地段。例如，小秦岭地区的潼峪金矿床和蒲峪金矿床之间，即东交沟至佛头崖一带，存在大面积的“空白区”，是寻找多层状含 Au 石英脉的有利地段（谭兴华等，2000），这已被勘探工作所证实。该区大月坪-金罗斑复背斜控制的缓倾斜含 Au 构造带比较发育，带内产出的含 Au 石英脉多呈舒缓波状延伸，连续性较好，具多层分布特点，其层间距离一般 100 m 左右。具代表性的有 Q504 之下 100 m 和 200 m 处，都有钻探控制的含 Au 石英脉；Q502 之下 100 m 左右，钻探亦控制到含 Au 石英

脉;向斜西翼(潼峪)分布的Q515与向斜东翼(蒿岔峪)分布的Q401-1在坑道中贯通连为一体,矿脉规模成倍扩大。以上勘探成果充分证明,小秦岭金矿区已知矿床的外围是开展深部找矿的优选靶区。

2.3 石英脉延伸方向是深部找矿的有利地段

小秦岭地区整体是以典型伸展拆离断层为边界的变质核杂岩体,其内发育大型剪切系统,这些脆韧性剪切带控制了金矿体的产出。有学者认为,与韧性剪切带有关的金矿化类型主要有蚀变糜棱岩型、构造蚀变岩型和石英脉型,不同金矿化类型具有不同的控矿构造类型,蚀变糜棱岩型金矿化受韧性变形带控制,构造蚀变岩型金矿化受脆性碎裂岩控制,石英脉型金矿化则受浅部裂隙带控制,且石英脉型往往穿切蚀变糜棱岩型和构造蚀变岩型(陈柏林,2000)。据此分析,小秦岭金矿区最具代表性的石英脉型金矿,矿化的上部、下部或深部应该是蚀变岩型金矿和蚀变糜棱岩型金矿,故含Au石英脉体的延伸地段往往是深部找矿非常有利的部位,这在许多金矿床都有实例为证。

从矿体角度分析,陈耳金矿在1420 m中段CD21坑发现的盲矿脉Q5,长300 m,为多金属硫化物石英脉,脉厚一般0.18~0.95 m,最厚1.68 m,平均0.75 m,Au品位一般为 0.38×10^{-6} ~ 9.3×10^{-6} ,最高 13.54×10^{-6} ,平均为 5.54×10^{-6} 。该脉向东与编号为SB3的构造蚀变岩型盲矿体在CD21坑中相连,SB3蚀变带长190 m,向东仍有断续延伸,蚀变带主要由石英细(网)脉及构造蚀变岩组成,带内岩石多呈碎裂状,矿体厚0.3~1.56 m,Au品位 4.18×10^{-6} ~ 12.04×10^{-6} 。另外,在潼关岳王庙地区,含Au石英脉体与构造蚀变岩型矿体亦由构造带一脉相连,交替出现(谭兴华等,2000)。说明不管在走向上还是在倾向上,矿脉都存在此种现象,大小不等,以尖灭再现的形式相连的含Au石英脉透镜体,其尖灭处或相互连接部位即发育构造蚀变岩即蚀变岩型金矿体。

从矿床这个层次分析,石英脉型和蚀变岩型金矿床的分布产出亦有规律可循。研究小秦岭金矿区具有代表性的葫芦沟蚀变岩型金矿床及其周边金矿床,可以发现石英脉型金矿出露标高比蚀变岩型金矿出露标要高,也就是说石英脉型矿床向深部有

可能转变为蚀变岩型矿床。葫芦沟金矿床产于1200~1400 m标高处,其紧邻的王排沟金矿Q2142、Q04矿脉产于1600~1800 m标高处,回马坪Q8607矿脉产于1380~1550 m处,统计的结果显示2种金矿床类型的标高相差180~400 m。故寻找深部的蚀变岩型金矿床也是深部找矿勘查的重要方向。

2.4 深部找矿方法技术探讨

深部找矿勘查具有难度大、投资大、风险大的特点,所以传统的技术方法在探测的深度、探测的灵敏度及抗干扰方面必须有较大的提高。目前,物探方法主要有瞬变电磁法(TEM)、可控源音频大地电磁法(CSAMT)、高精度磁法、井中物探、金属矿地震勘探、大比例尺航空物探等;化探方法主要有活动态金属离子法、酶浸析法、地电化学法、地球气法等(曹新志等,2009)。

李惠等(2008)研究了秦岭金矿床60号矿脉的地球化学轴向分带特征,从矿床地球化学特征出发,研究不同成矿阶段元素组合特征,建立含Au石英脉体的地球化学轴向分带模式,预测矿体的深部富集地段,是一种行之有效的深部找矿手段。60号矿脉元素的轴向分带序为:正常情况是前缘晕指示元素在上部,尾晕元素在下部。实际对60号脉主矿体(晕)计算结果从上至下是:B、Hg、Sb→Au、Cu、Ag、Pb、Bi、Mo→Mn、Ni、Zn、As、Ba、V,前缘指示元素B、Hg、Sb在上部,而As、Ba却在下部,出现了“反常”或“反向分带”,反映了该矿体尾部有深部盲矿体前缘晕的叠加。再从地球化学参数轴向变化特点分析,Au、Ag是以矿体为中心,随远离矿体而含量降低。在正常情况下,前缘晕指示元素含量从矿体前缘、矿头、矿中部、矿尾应是逐渐降低,实际对60号脉矿体(晕)计算结果表明,前缘指示元素含量从上到下、由高到低,至尾部又升高,出现了转折,这种现象也反映了矿体尾部有深部盲矿体的前缘晕叠加。根据上述“反分带”和“地化参数转折”预测的深部盲矿靶位,仅验证了3个靶位,新增Au储量已超过了10 t。

笔者认为,坑内钻探也是深部找矿的有效方法之一,国外使用较多的深钻仅在有些地区有效,且有一定的局限性,勘查成本极高。由于钻探技术水平制约,特别是笔者研究的小秦岭金矿区浅部采空

区密布,深钻在许多金矿床基本无法实施,故在深部找矿勘查工作中采用坑内钻探工程是目前最直接有效的方法。

3 结论

根据小秦岭金矿区深部找矿的研究成果和陈耳金矿的勘探实践,笔者初步总结了一些共性规律,形成以下几点认识。

(1) 小秦岭金矿区是我国的一个超大型矿集区,深部找矿条件优越,潜力巨大。

(2) 在已知矿床的深部或者已知矿床的外围,存在大面积的深部找矿有利地区。

(3) 石英脉型金矿床(体)的深部有望寻找构造蚀变岩型金矿床(体)。

(4) 在深部找矿的有利部位,应该充分重视矿床主矿体的延伸、侧现和尖灭地段。

(5) 深部找矿的有效勘查方法应在重视地质综合研究、掌握成矿规律的基础上,运用地质、物探、化探等综合技术,利用地球化学轴向分带模式,预测矿体的深部富集地段,并以坑内钻探工程进行验证。

参考文献 (References):

- 贾建业. 小秦岭胭脂河金矿床黄铁矿产出的地质背景[J]. 西北地质, 1996, 17 (3): 1-6.
- Jia Jianye. The pyrite-forming geological background of Yanzhi-he gold deposit, in Xiaolinling [J]. North-western Geology, 1996, 17 (3): 1-6.
- 聂凤军, 江思宏, 赵月明. 小秦岭地区文峪和东沟石英脉型金矿床铅及硫同位素研究[J]. 矿床地质, 2001, 20 (2): 163-173.
- Nie Fengjun, Jiang Shihong, Zhao Yueming. Lead and Sulfur Isotopic Studies of the Wenyu and the Dongchuang Quartz Vein Type Gold Deposits in Xiaoqinling Area, Henan and Shaanxi Provinces, Central China [J]. Mineral Deposits, 2001, 20 (2): 163-173.
- 范永香, 阳正熙. 成矿规律与成矿预测 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- Fan Yongxiang, Yang Zhengxi. Metallogenetic regularities and prediction [M]. China University of Mining and Technology Press, Xuzhou, 2003.
- 方贵聪, 陈远荣, 蒋宗林, 等. 陕西洛南寺耳金矿成矿规律与成矿预测[J]. 地质与勘探, 2011, 47 (6): 1091-1098.
- Fang Guicong, Chen Yuanrong, Jiang Zonglin, et al. Ore-forming regularities and mineralization forecast of the Sier gold deposit in Luonan, Shaanxi Province [J]. Geology and Exploration, 2011, 47 (6): 1091-1098.
- 翟裕生, 邓军, 王建平, 等. 深部找矿研究问题[J]. 矿床地质, 2004, 23 (2): 142-149.
- Zhai Yusheng, Deng Jun, Wang Jianping, et al. Deep prospecting research problems [J]. Mineral Deposits, 2004, 23 (2): 142-149.
- 刘石年. 山东玲珑式金矿床矿体空间定位形式及其形成机制的探讨[J]. 地球科学, 1984, 27 (4): 47-56.
- Liu Shinian. On the model of space location of ore bodies and it's mechanism of LingLong-Type gold ore deposit [J]. Earth Science, 1984, 27 (4): 47-56.
- 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- Chang Yinbo, Liu Xiangpei, Wu Yanchang. The Copper-Iron Belt of the lower and middle reaches of the Changjiang River [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1991.
- 吕古贤, 武际春, 郑小武, 等. 山东省玲珑金矿田深部资源第二富集带的研究和预测[J]. 矿床地质, 2006, 25 (增刊): 435-438.
- Lu Guxian, Wu Jichun, Zhen Xiaowu, et al. A study and prognosis of deep resources along the second enrichment belt of the LingLong gold ore field, Shandong Province [J]. Mineral Deposits, 2006, 25 (suppl.): 435-438.
- 曹新志, 张旺生, 孙华山. 我国深部找矿研究进展综述[J]. 地质科技情报, 2009, 28 (2): 104-109.
- Cao Xinzhi, Zhang Wangsheng, Sun Huashan. Progress in the Study of Deep Exploration in China [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28 (2): 104-109.
- 戴自希, 王家枢. 矿产勘查百年 [M]. 北京: 地震出版社, 2004.
- Dai Zixi, Wang Jiashu. Mineral exploration in a century [M]. Earthquake Press, Beijing, 2004.
- 郭春影, 张文钊, 葛良胜, 等. 胶东西北部金矿床深部资源潜力与找矿方向[J]. 地质与勘探, 2012, 48 (1): 58-67.
- Guo Chunying, Zhang Wenzhao, Ge Liangsheng, et al. Deep prospecting potential of gold deposits in the north-

- western Jiaodong Peninsula and their ore-search direction [J]. *Geology and Exploration*, 2012, 48 (1): 58-67.
- 叶天竺, 薛建玲. 金属矿床深部找矿中的地质研究[J]. *中国地质*, 2007, 34 (5): 855-869.
- Ye Tianzhu, Xue Jianling. Geological study in search of metallic ore deposits at depth [J]. *Geology in China*, 2007, 34 (5): 855-869.
- 张德会, 周圣华, 万天丰, 等. 矿床形成深度与深部成矿预测[J]. *地质通报*, 2007, 26 (12): 1509-1518.
- Zhang Dehui, Zhou Shenghua, Wan Tianfeng, et al. Depth of ore deposit formation and prognosis of deep-seated ore deposits [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26 (12): 1509-1518.
- 谭兴华, 何建中, 韩俊民, 等. 小秦岭金矿带潼峪矿田新一轮找矿前景分析[J]. *西北金属矿产地质*, 2000, 23-24 (1-2): 52-58.
- Tan Xinhua, He Jianzhong, Han Junmin, et al. A new round of ore prospects analysis of the Tongyu ore fields in Xiaolinling gold ore belt [J]. *Geology of Metal Mineral Resources of Northwestern China*, 2000, 23-24 (1-2): 52-58.
- 陈柏林. 与韧性剪切带有关的不同金矿化类型地质地球化学特征对比研究[J]. *地质地球化学*, 2000, 28 (3): 24-30.
- Chen Bailin. Comparison of geological and geochemical characteristics between gold deposits of different types related with ductile shear zones [J]. *Geology-Geochemistry*, 2000, 28 (3): 24-30.
- 李惠, 张国义, 高延龙, 等. 小秦岭金矿集中区深部第二富集带预测的构造叠加晕模型[J]. *物探与化探*, 2008, 32 (5): 525-528.
- Li Hui, Zhang Guoyi, Gao Yanlong, et al. The structural superimposed halo model for prognosis of the Xiaolinling gold ore concentration area [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2008, 32 (5): 525-528.
- Groves D I. The crustal continuum model for late-Archaeon lode-gold deposits of the Yilgarn Block, western Australia [J]. *Mineralium Deposita*, 1993, 28: 366-374.

Study on Mineral Exploration in Depth of Xiaoqinling Gold Deposit Region —a Case of Chen'er Gold Ore Deposit

TAN Xing-hua¹, WANG Lei¹, WANG Rui-ting²

(1. No. 712 Party of Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals in Northwest China, Xianyang 712000, China; 2. Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals in Northwest China, Xi'an 710054, China)

Abstract: According to research achievement of mineral exploration in depth of Xiaoqinling gold deposit region and prospecting practice for Chen'er gold ore deposit, it concluded that Xiaoqinling gold deposit region is another super-large ore cluster region, which have superior exploration condition and potential in depth. It has large favorable districts for exploration located in depth or surrounding of known deposits. Some exploration targets should be paid attention to, such as extending, lateral currence, and wedge out of main orebody. There is possibility to find structure altered rock type gold deposit in depth of quartz vein type gold deposit. On the base of strengthening geology synthetical study and understanding metallogenic regularity, the effective methods for exploration in depth includes geology, geophysics, and geochemistry comprehensive new techniques, and so on. It can forecast deep enriched section of orebody by using the geochemical axis zoned model, and prove by drill project in hole.

Key words: Chen'er gold ore deposit; metallogenic feature; mineral exploration in depth; exploration method; Xiaoqinling